



**IMPACTO DAS ALTERAÇÕES DA COBERTURA DO SOLO
NO ARMAZENAMENTO DO CARBONO EM ANGOLA ENTRE
2005 e 2009**

Emília Joana Francisco Vieira

Dissertação apresentada como requisito parcial para
obtenção do grau de Mestre em Ciência e Sistemas
de Informação Geográfica

**IMPACTO DAS ALTERAÇÕES DA COBERTURA DO SOLO NO
ARMAZENAMENTO DO CARBONO EM ANGOLA ENTRE 2005 e 2009**

Dissertação orientada por:

Professor Doutor Pedro da Costa Brito Cabral

Novembro, 2018

DECLARAÇÃO DE ORIGINALIDADE

Declaro que o trabalho contido neste documento é da minha autoria e não de outra pessoa. Toda a assistência recebida de outras pessoas está devidamente assinada e é efetuada referência a todas as fontes utilizadas (publicadas ou não).

O trabalho não foi anteriormente submetido ou avaliado na NOVA Information Management School ou em qualquer outra instituição.

Luanda, 05 de Novembro de 2018

AGRADECIMENTOS

Jeová, O Deus Todo Poderoso, por me dar a vida e permitir que esta formação chegasse ao fim. Por permitir que o Professor Doutor Pedro da Costa Brito Cabral aceitasse o desafio de orientar este trabalho.

Professor Doutor Pedro da Costa Brito Cabral, meu orientador, pela proposta do tema, pela dedicação, disponibilidade, ligeireza na troca de correspondência, pelas sugestões sempre pertinentes, pelos ensinamentos e pelo incondicional apoio.

Dra Maria Cândida Teixeira, então Ministra da Ciência e Tecnologia, por me ter autorizado a frequentar o mestrado.

Dra Maria do Rosário Bragança Sambo, Ministra do Ensino Superior, Ciência, Tecnologia e Inovação, por permitir a conclusão desta formação sem qualquer condicionante.

Professor Manuel Domingos de Oliveira Cadete, pelo incentivo e todo apoio. Aos demais funcionários da extinta Comissão Nacional de Captação e Processamento de Imagens de Satélite, em particular os meus colegas de mestrado: Emmanuel Arsénio, Canga Paula e Celise de Assunção, pelo apoio e confiança.

Fernando Miguel, meu marido, amigo e companheiro, pelo apoio, compreensão sobretudo quando não pode cumprir o papel de esposa.

Meus filhos, meu pai, sobrinhos e irmãos, em particular o André e Felícia, por me hospedarem carinhosamente sempre que tive necessidade de me deslocar a Portugal.

Aos meus amigos, Filomena Calunda, João Calunda, Nabeiro Mateus e Laura Mateus, por acreditarem sempre que isto seria possível.

Por fim e não menos importante, expressar meus agradecimentos a todos que direta ou indiretamente contribuíram para que esta tarefa se tornasse realidade

IMPACTO DAS ALTERAÇÕES DA COBERTURA DO SOLO NO ARMAZENAMENTO DO CARBONO EM ANGOLA ENTRE 2005 e 2009

RESUMO

A cobertura do solo tem um impacto importante na regulação do clima, podendo ser estudado através do cálculo do armazenamento de carbono. Neste estudo, avaliou-se o serviço de ecossistema de regulação do clima, por meio da quantificação e mapeamento do carbono armazenado no solo, com base nas alterações observadas na cobertura do solo entre 2005 e 2009. Para quantificar, mapear e valorizar o armazenamento de carbono no solo, utilizou-se a ferramenta de modelação ambiental InVEST – *Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs*, mais concretamente o módulo *Carbon storage and sequestration*, em combinação com um Sistema de Informação Geográfica (SIG). A análise foi realizada ao nível das províncias sendo fornecidas estimativas económicas para os valores deste importante serviço. Os resultados sugerem que houve um aumento de cerca de 941.727.360 milhões de toneladas, i.e., 5% em todo território em 2009. As províncias que mais contribuíram para este aumento foram: Cunene (29%), Zaire (25%), Cuanza Norte (24%), Bengo (17%), Huíla (15%), Namibe (12%), Uíge (11%). As províncias que registraram a maior diminuição foram: Huambo (-16%), Luanda (-14%). As restantes províncias tiveram variações inferiores a 10%. Para estimar o valor económico o modelo relaciona a componente social e a biofísica do sistema. Respeitando os dados de entrada necessários para o modelo gerar resultados mensuráveis e aplicando os preços de mercado de carbono, verificou-se que a nível nacional este serviço foi avaliado em cerca de US \$ 31.111.427.694 para 2009. Estes resultados podem ser úteis na definição de políticas públicas relacionadas com as alterações climáticas. No caso de Angola, esta informação servirá para definir políticas de ordenamento que visem o desenvolvimento sustentável.

IMPACT OF CHANGES IN SOIL COVERAGE ON CARBON STORAGE IN ANGOLA BETWEEN 2005 AND 2009

ABSTRACT

Soil cover has a major impact on climate regulation and can be studied by calculating carbon storage. In this study, the ecosystem service of climate regulation was evaluated through the quantification and mapping of the carbon stored in the soil, based on the changes observed in the soil cover between 2005 and 2009. To quantify, map and value the storage of In VEST (Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs), the Carbon storage and sequestration module was used in combination with a Geographic Information System (GIS). The analysis was carried out at provincial level and economic estimates were provided for the values of this important service. The results suggest that there was an increase of around 941,727,360 million tons, ie, 5% in the whole territory in 2009. The provinces that contributed most to this increase were Cunene (29%), Zaire (25%), Cuanza North (24%), Bengo (17%), Huila (15%), Namibe (12%), Uige (11%). The provinces that registered the greatest decrease were: Huambo (-16%), Luanda (-14%). The remaining provinces had variations of less than 10%. To estimate economic value, the model relates the social component and biophysics of the system. Respecting the input data required for the model to generate measurable results and applying market prices, it was found that at the national level this service was valued at about US \$ 31,111,427,694 for 2009. These results can be useful in policy making related to climate change. In the case of Angola, this information will serve to define planning policies aimed at sustainable development.

PALAVRAS-CHAVE

Angola

ArcGIS

Armazenamento de carbono

GlobCover

InVEST

KEYWORDS

Angola

ArcGIS

Carbon Storage

GlobCover

InVEST

ACRÓNIMOS

CCI - Centro de Investigação da Comissão Europeia
CCI – Iniciativas das Mudanças Climáticas
CGLS - Copernicus Global Land Services
ESA - Agência Espacial Europeia
FAO - Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação
GEE – Gases com Efeito de Estufa
GEO - Grupo de Observação da Terra
GOFC-GOLD – *Global Observation of Forest Cover and Land Dynamics*
GSOC Map - *Global Soil Organic Carbon Map*
IGBP – *International Geosphere-Biosphere Programme*
INE - Instituto Nacional de Estatística
IIASA - Instituto Internacional de Análise de Sistemas Aplicados
LCCS - Sistema de Classificação de Cobertura da Terra
LUCC – *Land Use Cover Change*
MDL - Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MEA - *Millennium Ecosystem Assessment*
MERIS - *Medium Resolution Imaging Spectrometer* -
PIB - Produto Interno Bruto
PNUD - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
SIG – Sistema de Informação Geográfica
UNEP - Programa das Nações Unidas para o Ambiente

ÍNDICE DO TEXTO

DECLARAÇÃO DE ORIGINALIDADE	iii
AGRADECIMENTOS.....	iv
RESUMO	v
ABSTRACT	vi
PALAVRAS-CHAVE	vii
KEYWORDS	vii
ACRÓNIMOS	viii
ÍNDICE DO TEXTO	ix
ÍNDICE DE TABELAS	xi
ÍNDICE DE QUADROS.....	xii
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiv
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Enquadramento e relevância do problema	1
1.2. Estimativa do Valor Económico.....	3
1.3. Impacto do armazenamento do carbono sobre a cobertura do solo	6
1.4. Objetivos.....	7
1.4.1. Objetivo Geral	7
1.4.2. Objetivos Específicos	7
2. Dados e Metodologia	8
2.1 Área de estudo	8
2.2. Dados	10
2.2.1. Dados da área de estudo	10
2.2.2. Dados de entrada e <i>software</i>	10
2.3. Métodos.....	12
a) Modelo Carbon Storage and Sequestration <i>InVEST</i>.....	13
b) Cálculo da variação do armazenamento do carbono por província entre 2005 e 2009	13
c) Mapeamento das Províncias.....	14
3. Resultados	16
3.1. Variação do armazenamento do carbono por provinciais entre 2005 e 2009	17
3.2 Mapeamento da distribuição do carbono em 2005 e 2009.....	19

3.2.1 Mapeamento por províncias	22
3.3. Cálculo da variação do carbono armazenado em percentagem	30
3.4. Valorização económica do carbono	31
4. Conclusão	34
4.2. Desenvolvimentos futuros	35
4.2.1. <i>Land Cover</i> África	35
Referências Bibliográficas	37

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Modelo de entrada para o carbono orgânico no solo, biomassa acima e abaixo do solo do tipo LULC (Woomer et al., 2004; Gowgoski e Sonwa 2011; Adu-Bredu et al., 2011; Asa et al., 2010	15
Tabela 2 - Representação das classes de solo para os anos 2005 e 2009 e respetiva variação.....	19
Tabela 3 – Quantidade de carbono (Mg C h^{-1}) armazenado por província em %	29
Tabela 4 – Carbono sequestrado e respetivo valor económico (milhões US \$)	32

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Legenda das classes observadas em Angola	17
---	----

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Variação de carbono de 2005 a 2009 em percentagem.....	30
Gráfico 2 - Quantidade do carbono sequestrado.....	33
Gráfico 3 - Valor económico do carbono armazenado.....	33

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Divisão Administrativa de Angola	8
Figura 2 – Fluxograma da Pesquisa	12
Figura 3 – GlobCover Angola 2005 e 2009.....	18
Figura 4 - Distribuição do carbono (Mg C h-1) em 2005, 2009 e respetiva variação (%).....	21
Figura 5 - Distribuição do carbono (Mg C h-1) em 2005, 2009 e respetiva variação (%) no Bengo	22
Figura 6 - Distribuição do carbono (Mg C h-1) em 2005, 2009 e respetiva variação (%) em Benguela,.....	23
Figura 7 - Distribuição do carbono (Mg C h-1) em 2005, 2009 e respetiva variação (%) no Cuando Cubango,	24
Figura 8 - Distribuição do carbono (Mg C h-1) em 2005, 2009 e respetiva variação (%) no Cunene,	25
Figura 9 - Distribuição do carbono (Mg C h-1) em 2005, 2009 e respetiva variação (%) em Luanda,.....	26
Figura 10 - Distribuição do carbono (Mg C h-1) em 2005, 2009 e respetiva variação (%) em Malanje,.....	27
Figura 11- Distribuição do carbono (Mg C h-1) em 2005, 2009 e respetiva variação (%) no Uíge e Zaire).....	28

1. INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento e relevância do problema

A interação entre as comunidades de plantas, animais e microrganismos e o meio abiótico designa-se ecossistema. Estes oferecem ao Homem inúmeros benefícios conhecidos como “bens e serviços do ecossistema (CE, 2010). Muitas são as definições para serviço de ecossistemas:

“As contribuições diretas e/ou indiretas dos ecossistemas para o bem-estar humano” (Braat e De Groot, 2012).

“Capacidade dos ecossistemas em prover benefícios e serviços que atendam, direta ou indiretamente, às necessidades humanas” De Groot, 1992.

Existe alguma similaridade na forma como Costanza et al. (1997) e o *Millennium Ecosystem Assessment* (MEA) definem ecossistema: *“serviços de ecossistemas representam benefícios que a população obtém, direta ou indiretamente”*. De acordo com Falkowski et al., (2000), as florestas são importantes reservatórios de carbono nos ecossistemas terrestres. Segundo Schlesinger & Andrews (2000), Smith et al., (2013) e De Groot et al., (2010) a capacidade que a vegetação e solo tem em remover o carbono da atmosfera, regulando as emissões dos gases com efeito de estufa é definida como serviço de ecossistema de regulação climática, por reduzir os efeitos nas mudanças climáticas (Gómez-Baggethun & Barton 2013).

Diversos investigadores têm destacado a grande importância da conservação das florestas para a regulação do clima, dada a sua capacidade de armazenamento de carbono. A atmosfera é sensível as mudanças que ocorrem na cobertura do solo (Charney et al., 1977), pois tais alterações influenciam as características biofísicas e o ciclo de carbono. Logo, alterações a nível destes ecossistemas (por exemplo desflorestação ou incêndios florestais) afetam a regulação do clima tanto global, regional ou local, pois deixam os solos expostos, o que influenciará o sequestro e armazenamento de carbono.

Os dados da cobertura do solo são importantes entradas para a monitorização da saúde dos ecossistemas, alterações climáticas, florestas, degradação da terra, etc. (Defries et al., 2002, Pereira et al., 2010). A grande utilidade dos mapas de cobertura solo,

desencadeou nos investigadores a necessidade de produzir mapas de cobertura terrestre global (Global Land Cover), surgindo assim o projeto GlobCover. Trata-se de uma iniciativa da Agência Espacial Europeia (ESA) em parceria com UNEP, CCI, EEA, FAO, GOFC-GOLD e IGBP. Um dos objetivos do projeto GlobCover foi disponibilizar mapas de cobertura do solo usando as observações de imagens do sensor 300m MERIS a bordo do satélite Envisat. Assim, a ESA, disponibilizou dois mapas de cobertura do solo, correspondentes a dois períodos: o primeiro mapa corresponde a Dezembro de 2004 a Junho 2006 e o segundo de Janeiro e Dezembro de 2009, tendo ganho a denominação *GlobCover* 2005 e *GlobCover* 2009, respetivamente.

Mais recentemente, durante a comemoração do Dia Mundial do Solo (5 de Dezembro de 2017), a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO) apresentou o GSOC Map (*Global Soil Organic Carbon Map*). Trata-se de um mapa completo sobre as reservas de carbono nos solos e mostra que nos primeiros 30 centímetros a quantidade de carbono armazenado é de cerca 680 bilhões de toneladas em todo mundo. Trata-se de uma quantidade significativa quando comparada com os 560 bilhões de toneladas de carbono armazenado na vegetação. Cerca de 10 países armazenam mais de 60% dos 680 bilhões de toneladas: Rússia, Canadá, EUA, China, Brasil, Indonésia, Austrália, Argentina, Cazaquistão e República Democrática do Congo.

África é um dos continentes onde o crescimento populacional induz uma grande procura de habitabilidade, o que se traduz num maior uso e cobertura do solo. No entanto, de modo geral neste continente, são escassos os estudos sobre o impacto nos serviços de ecossistemas e isto deve-se a falta de dados (Leh *et al.*, 2013).

Os mapas de cobertura de solo (*Land Cover*) são importantes ferramentas para avaliar os serviços de ecossistemas, prever cenários, etc. Assim e com base no projeto europeu GlobCover, criou-se um grupo de supervisão para elaborar o Land Cover para África: o grupo de observação da Terra (GEO).

Em Outubro de 2017, a ESA, dentro da Iniciativa das Mudanças Climáticas (CCI), lançou um protótipo de mapa *Land Cover* de alta resolução (20m) sobre a África, com base em 1 ano de observações Sentinel-2^a, i.e., de Dezembro de 2015 a Dezembro de 2016.

Angola, como um país africano enfrenta os mesmos desafios e de modo geral muitos são os défices em termos de dados cartográficos que possam dar suportes a trabalhos de investigação. Esta e outras lacunas serviram de base para realização deste trabalho, onde se procurou usar os mapas de cobertura da terra (*GlobCover*) para analisar o impacto do solo no armazenamento do carbono, uma vez que uma boa gestão da cobertura do solo funciona como indicador ambiental e como instrumento de apoio à decisão. Assim, os resultados obtidos permitirão planificar o ordenamento do território, principalmente no que diz respeito a local e como as alterações da cobertura do solo afetarão o serviço de ecossistema de regulação climática.

1.2. Estimativa do Valor Económico

É indiscutível a importância dos serviços de ecossistemas, no caso das florestas. De acordo com Groot et al., (2002), um dos benefícios dos ecossistemas florestais é o apoio a vida do planeta, este apoio está relacionado com a regulação do clima (por meio do carbono armazenado). Por outro lado, as florestas garantem a produtividade dos solos por causa dos nutrientes em decomposição proveniente da matéria orgânica depositada no solo. O desconhecimento do valor económico dos serviços de ecossistemas faz com que autores utilizem diferentes abordagens para valorizá-lo. Para Groot et al., (2002), o sequestro e armazenamento de carbono pode ser estimado através do método de custo de reposição ou pelo custo de danos a evitar. O autor realça ainda o valor sociocultural, ambiental e ecológico.

O dióxido de carbono (CO₂) é um gás com efeito de estufa (GEE) e um dos principais responsáveis pelas alterações climáticas, principalmente quando é libertado durante a queima dos combustíveis fósseis e durante a deflorestação. A preocupação com estes tipos de gases levou ao surgimento do Protocolo de Quioto, em 1997. Este protocolo impulsionou a definição da expressão, *sequestro de carbono* e serviu de meio para a minimizar a produção dos GEE, dando grande relevância as florestas, pela sua capacidade de sequestrar o carbono e contribuir para a estabilização do clima (Machado, 2005).

As preocupações com os gases com efeitos de estufa, levou também ao surgimento do chamado mercado de carbono. A criação deste mercado estimulou várias instituições internacionais a analisarem as questões económicas e financeiras, resultantes das

negociações do Protocolo de Quioto e os objetivos estabelecidos pela chamada “Convenção das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas”.

O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) é um dos objetos previstos no Protocolo de Quioto e que permite a participação dos países em desenvolvimento na redução dos níveis de poluentes ambientais. Ao se referirem aos poluentes ambientais destaca-se as quantidades de carbono sequestrado pela atmosfera e não apenas nos ecossistemas terrestres. Usando o método de valorização custo de reposição e projetos no âmbito dos MDL, Bodola et al., (2010) realizaram um estudo que contemplava o valor económico do sequestro de carbono. Por se tratar de um produto intangível sua “comercialização” não segue a regra dos mercados físicos e perfeitos, ou seja, não há na verdade produtores e consumidores. Sua comercialização dependerá dos créditos de carbono e isto exige a intervenção de outros agentes de regulação claros para que se possa implementar. Isto passaria, primeiro por inventariar as emissões dos Gases com Efeito de Estufa (GEE), para saber se uma determinada instituição terá de comprar ou vender seus créditos e quais as regras do negócio.

O valor económico do carbono está mais relacionado com a proteção do ambiente. Para se alcançar os parâmetros mundiais, surgiu o conceito: níveis de poluição. Este conceito permitia aos países com elevados níveis de poluição (grandes emissões de GEE), poderem pagar aos países de baixa emissões, o direito das suas emissões ou seja o “direito de poluir”¹. Não existe no caso qualquer relação custo/benefício. Ainda assim e segundo o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), os créditos de carbono já estão sendo comercializados e cada tonelada de carbono varia entre USD 3.00 – 5.00 dólares americanos.

Países há, como é o caso da Suécia, que têm vindo a adotar o imposto sobre o carbono. O imposto serve de base para estimar o valor do carbono sequestrado. Está é a maneira encontrada para reduzir as emissões dos gases com efeito de estufa.

¹ Barbosa, Rangel; Oliveira, Patrícia. O Princípio do Poluidor-Pagador no Protocolo de Quioto. Revista de Direito Ambiental. São Paulo, nº 44.

Angola ratificou o Protocolo de Quioto, mas por ser um dos países em vias de desenvolvimento, não tem obrigação concreta na redução das suas emissões. Porém isto não impede o país de desenvolver projetos no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), pois tais projetos contribuem para o desenvolvimento sustentável e oferecem benefícios reais, mensuráveis que a longo prazo minimizarão as consequências do aquecimento global.

Realçando as negociações sobre alterações climáticas, surge o período pós-Quoto, cujo marco foi o Acordo de Paris, em 2015 (21ª Cimeira do Clima-COP21). O Acordo de Paris é interpretado por alguns autores como sendo uma abordagem *bottom up* para as negociações climáticas (Bueno Rubail, 2016; Carraro, 2016; Okereke & Coventry, 2016; Aflonis, 2017). Bueno Rubial (2016) fez uma análise aos princípios e as normas que caracterizaram o regime climático em dois períodos, isto é, entre 1990 e 2009, o Regime do Protocolo de Quioto. O autor explica que:

“O regime climático, seus propósitos e princípios, em particular o Princípio de Responsabilidade Comum, porém Diferenciado (PRCD) constitui um modo de interpretar o caminho para cumprir o propósito no qual os países desenvolvidos deveriam ter a liderança tanto em matéria de redução de emissões como de provisão de meios para que os países em desenvolvimento pudessem gerar suas próprias ações climáticas”.

O documento final da COP-21, a qual se atribuiu o nome de Acordo de Paris (*Paris Agreement*) inclui as seguintes determinações:

- “Parar o aumento da temperatura média global abaixo dos 2°C acima dos níveis Pré-industriais e envidar esforços para limitar o aumento da temperatura a 1.5°C acima dos níveis pré-industriais, reconhecendo que isso reduziria os riscos e impactos nas alterações climáticas”;
- “Maior adaptação aos impactos adversos as alterações climáticas e estimular a resiliência climática e o desenvolvimento com baixas emissões dos GEE”.
- “Tornar os fluxos monetários consistentes, direcionando-os para a redução das emissões dos GEE”.

1.3. Impacto do armazenamento do carbono sobre a cobertura do solo

No ecossistema terrestre o armazenamento de carbono ocorre predominantemente no solo (Pedro, 2005). Quando não há perturbação no ecossistema, a absorção de carbono por meio da fotossíntese excede as perdas por respiração e o balanço desse ciclo tende a ser positivo (Gerber et al., 2013). De acordo com PEDRO (2005), as reservas de carbono no solo não são permanentes, podem sofrer alterações a curto ou longo prazo. Perturbações, tais como incêndios, desmatamento, secas, podem gerar perdas de carbono do solo e da vegetação (Gerber et al., 2013). As emissões de CO₂ do solo para atmosfera ocorrem principalmente pelo processo biológico de decomposição dos resíduos orgânicos, respiração de organismos e sistema radicular das plantas (Carvalho et al., 2010). O uso inadequado dos solos, para além de contribuir na emissão de gases com efeito de estufa, gera impactos negativos a sua sustentabilidade. Por outro lado, boa manutenção permite maior armazenamento de carbono no solo e atenuar os efeitos do aquecimento global (Gerber et al., 2013).

Lal, 2004 define sequestro de carbono como a remoção de CO₂ da atmosfera pelas plantas e o seu armazenamento como matéria orgânica no solo. Para o autor, geralmente a taxa de sequestro varia de acordo com a estrutura e textura do solo, precipitação, temperatura, e gestão do solo. Para se conhecer o potencial de captura e armazenamento de carbono no solo, tornou-se necessário a sua quantificação nas distintas frações da matéria orgânica do solo (Loss et al., 2010). A mensuração é feita em base volumétrica para determina profundidade do solo e geralmente é expressa em Mg C h⁻¹. Para LAL, 2004, os métodos de análise são de fácil aplicação e alta precisão, no entanto, a variedades de fatores que influenciam na reserva de carbono resulta em heterogeneidade e isto torna difícil quantificar as variações do estoque de carbono ao longo do tempo.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo Geral

Identificar, quantificar e avaliar economicamente o armazenamento de carbono para Angola entre 2005 e 2009.

Pretende-se que esta tese seja um contributo para transmitir aos agentes decisores e aos cidadãos a importância dos serviços de ecossistemas na regulação do clima.

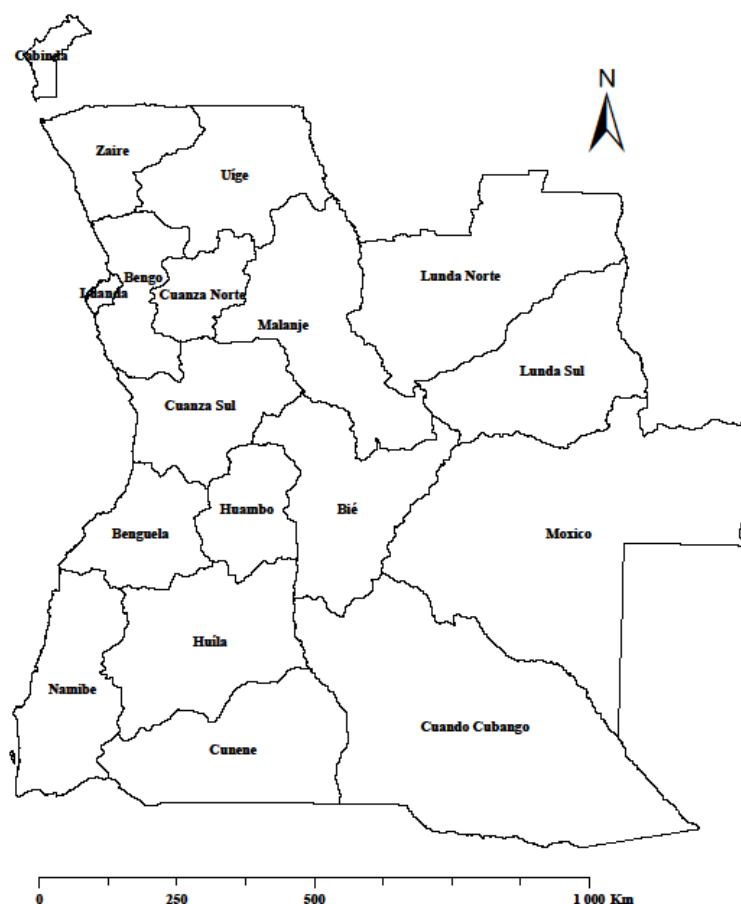
1.4.2. Objetivos Específicos

Em termos de objetivo específicos pretende-se:

- i) Mapear o carbono armazenado em Angola, utilizando o *software InVEST*.
- ii) Quantificar e avaliar economicamente o carbono armazenado e sequestrado em Angola, a nível nacional e ao nível de província.

2.1 Área de estudo

Divisão Administrativa de Angola



8

O país tem aproximadamente 25.789.024 habitantes de acordo com o recenseamento feito em 2014 (INE 2014), destes cerca de 6.945.386 encontram-se na capital Luanda. Bengo é a província menos populosa, tendo um pouco mais de 356.000 habitantes. Do registro total da população, cerca de 586.480 são estrangeiros, correspondendo assim cerca de 2.3% do total, na sua maioria concentrados em Luanda.

O território encontra-se organizado em 18 províncias, divididas em 157 municípios. A latitude de Angola enquadra-se entre os paralelos 4° 22' e 18° 02' a Sul do Equador, apresenta em termos gerais um clima entre o árido ou desértico e temperado quente com seca em tempo de cacimbo (inverno). O clima é variado sendo tropical no Norte e subtropical no Sul e temperado nas zonas de maior altitude. Há em todo território duas estações distintas: a estação quente e húmida, que apresenta níveis de pluviosidade mais elevados e a estação fria e seca, designada cacimbo. A diversidade climática contribui para o surgimento de uma vegetação diversificada que vai desde as comunidades estépicas da faixa desértica do Sudoeste até às savanas ou florestas densas e húmidas dos climas super-húmidos.

Quanto aos solos, os mais férteis são os das margens dos rios. Nas regiões secas, isto é, de clima desértico, os solos são geralmente menos férteis. Existe ainda a zona intertropical, onde a vegetação se adapta ao clima, neste é possível produzir cereais (trigo, cevada, aveia, centeio, etc.). No período frio, em época chuvosa ou sobre boas práticas de rega, é possível produzir café nas matas dos Dembos (Cuanza Norte) ou oliva e vinha nas baixas (Bero e Giraúl) no Namibe. A atividade agrícola é destacada pelo cultivo de café, cana-de-açúcar, sisal, milho, amendoim (ginguba), arroz, cacau, banana, batata, algodão e tabaco. Os recursos florestais são vastos, tendo florestas naturais como preciosas reservas de madeira (Dembos e Maiombe). Dentre elas estão as espécies de valor económico, como o eucalipto e o pinheiro, espécies que se adaptam perfeitamente às superfícies planálticas, isto é, acima dos 1200 m. A sua economia baseia-se na exploração de petróleo, produto responsável por cerca de 58% do Produto Interno Bruto (PIB), seguindo-se pelos diamantes, estes dois minerais fortalecem a economia do país. Não obstante o país é considerado rico por possuir também, entre outros grandes quantidades de ferro e jazidas de cobre, manganês, fosfato, chumbo, estanho, ouro e prata.

2.2. Dados

2.2.1. Dados da área de estudo

Para as delimitações das dezoito províncias que compõe a República de Angola, fez-se a descarga dos shapefiles nos seguintes endereços: www.gadm.org/country e www.diva-gis.org/gdata (GADM, sem data)

Para utilização dos dados estatísticos consultou-se a informação disponível em www.ine.gov.ao e censo.ine.gov.ao, sítios oficiais do Instituto Nacional de Estatística de Angola.

2.2.2. Dados de entrada e *software*

Os dados de entrada foram os mapas de cobertura do solo, *GlobCover* 2005 e 2009, com uma resolução espacial de 300m, adquiridas gratuitamente através do sítio due.esrin.esa.int/page_globcover.php. A manipulação dos dados foi feita com recurso aos *softwares* ArcGIS 10.3.1. e *InVEST* Version 3.1.1 (*Carbon Model*). Este último disponível em data.naturalcapitalproject.org/nightly-build/invest-users-guide/html/carbonstorage.html.

- ***GlobCover***

O mapa de cobertura do solo utilizado foi produzido a partir da classificação automática de uma série temporal dos mosaicos do sensor MERIS (*Médium Resolution Imaging Spectrometer*) dos anos 2005 e 2009, este último com 300m de resolução. (ESA Data User Element, sem data). Baseando-se no sistema de classificação de cobertura da terra (LCCS) da FAO (Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação), o modelo descreve cerca de vinte e duas (22) classes, legendadas com base nos valores encontrados nos metadados, com uma precisão global de 73% (Defourny et al., 2009).

A utilidade dos mapas global de cobertura da terra (*GlobCover*) é variada, podendo ser utilizada para obter padrões de solo, analisar os efeitos da poluição ambiental, perda da biodiversidade, estudo dos recursos naturais e/ou dos ecossistemas ou até planejar ou criar modelos para estudos das alterações climáticas. Por isto, quer UNEP, a FAO ou CCI, usam os dados *GlobCover* para detetar e melhorar de forma precoce as questões ambientais além-fronteiras.

O mapa *GlobCover* é fornecido no formato *GeoTIFF* e uma camada do ArcGIS (LYR) e cuja legenda e descrição do produto com ser encontrados nos formatos *Globcover2009_legend.xls* e *Globcover2009_ReadMe.Pdf*. Uma vez que a atribuição das cores é um tanto quanto aleatória, a extensão *lyr* (do formato ARC/INFO) fornece uma base para atribuição de cores de acordo com os objetivos do usuário, para tal o raster deve ser adicionado e visualizado no ArcMap, que é um aplicativo do ArcGIS que permite explorar dados geográficos e criar mapas. Os outros dados relacionados com os mapas *GlobCover* (legenda, métodos e validação) estão disponíveis de forma resumida no relatório de validação “GLOBCOVER 2009”.

- ***ArcGIS***

Trata-se de um *software* SIG criado pela ESRI (Environmental Systems Research Institute), que permite armazenar dados de diversas fontes, manipulá-los e criar informação (em forma de mapas). Embora sua licença não seja gratuita, a sua casta gama de soluções e a grande utilização tornam-na numa ferramenta muito utilizada no universo dos SIG.

- ***InVEST***

Desenvolvido pela Natural Capital Project, a ferramenta *InVEST – Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs*, suporta cerca de 17 modelos que permitem avaliar os serviços dos ecossistemas (serviços terrestres, marinhos, água doce...) e fornecer cenários, que permitem reduzir os impactos negativos e aumentar as oportunidades de maximizar os benefícios que advém de uma boa gestão e monitorização ambiental adequado. Estes cenários dão suporte a tomadas de decisões acerca de questões ambientais. Isto permite aos decisores analisarem as situações de conflito (*tradeoffs*), podendo identificar as áreas de investimento em capital natural, com vista a melhorar a conservação dos recursos e o desenvolvimento humano (Tallis et al., 2013). O modelo escolhido designa-se *Carbon Storage and Sequestration*. Este permite analisar o serviço de ecossistema terrestre, quantificar e mapear o carbono armazenado e sequestrado. A quantificação do carbono tem como base a soma do carbono armazenado nos diferentes reservatórios (*pools*): [acima do solo, abaixo do solo, matéria orgânica em decomposição e solo (matéria orgânica do solo)] para cada classe de ocupação do solo, assim se obtém o carbono armazenado em cada classe e/ou o carbono armazenado em toda área.

2.3. Métodos

A distribuição espacial das diferentes classes de solos de uma dada região é normalmente visualizada a partir de mapas pedológicos. Porém o método tradicional para obtenção e/ou atualização destes mapas é lento, caro e requer análises laboratoriais (McBrantney et al., 2003). Desta forma as imagens de satélites obtidas por detecção remota tem sido consideradas importantes ferramentas, nos estudos de solos (Nanni, 2000).

Neste trabalho usou-se *GlobCover* (produto das técnicas de detecção remota) para calcular a biomassa acima do solo, abaixo do solo e na matéria orgânica. O procedimento metodológico encontra-se na figura 2, onde a revisão bibliográfica envolveu a pesquisas de dissertações, teses e artigos científicos publicados em alguns periódicos de abrangência internacionais.

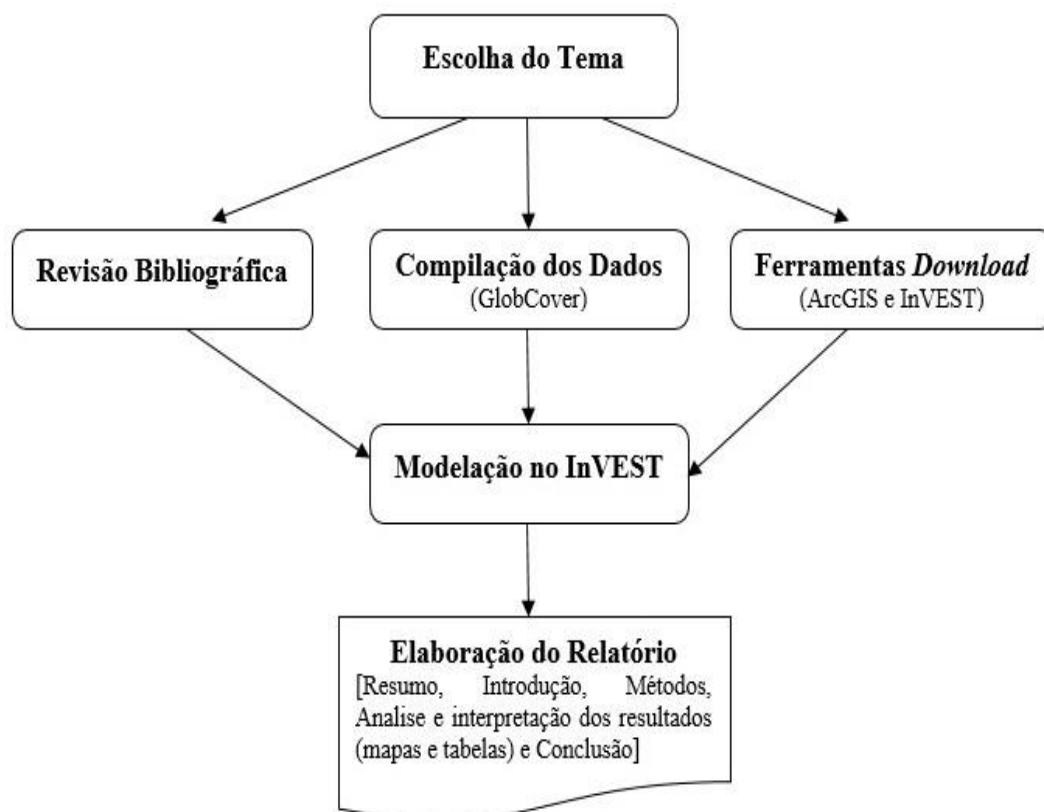


Figura 2 – Fluxograma da Pesquisa

a) Modelo Carbon Storage and Sequestration *InVEST*

O modelo *InVEST Carbon* permite estimar a quantidade de carbono armazenado e sequestrado ao longo do tempo, onde o carbono armazenado é a quantidade de carbono em um dado período e o sequestrado indica a variação de carbono em um dado período de tempo. Um dos requisitos para implementar este modelo é usar os mapas de uso e cobertura do solo, fornecido pelo usuário e usar a tabela com as classes LULC, (LULC do inglês *Land Use and Land Cover Change Models*), onde constam as seguintes classes: agricultura, urbanas, floresta, pastagens e água. Também é dada em atenção os dados sobre *stocks* dos quatro reservatórios (*pools*) de carbono, que são biomassa acima do solo, biomassa subterrânea (ou abaixo do solo), solo e na matéria orgânica morta e opcionalmente os dados relativos aos produtos que resultam da extração da madeira. Tendo em atenção estes elementos é possível estimar a quantidade de carbono armazenado ou quantificar o carbono sequestrado ao longo de um dado período. Pode-se também estimar o valor do carbono sequestrado ao longo do tempo, de acordo com o preço do carbono no mercado e/ou o seu valor social.

Neste trabalho o modelo *Carbon Storage and Sequestration* foi usado para estimar a variação de carbono acima do solo entre 2005 e 2009. Porém e tendo em consideração a importância do sequestro de carbono fornecido pelos serviços de ecossistemas, como sendo: a regulação climática procura-se também responder as seguintes questões: como se distribuiu o carbono armazenado/sequestrado em todas as provinciais de Angola entre os anos de 2005 a 2009? Quanto valerá o armazenamento/sequestro de carbono para o país?

Com recurso ao *software* ArcGIS, mapeou-se o carbono armazenado em todo território nos anos 2005 e 2009. Recorrendo a bibliografia existente pretendeu-se estimar o valor do carbono sequestrado, com base nos valores estipulados pelo mercado internacional do carbono.

b) Cálculo da variação do armazenamento do carbono por província entre 2005 e 2009

A variação do carbono armazenado será estimada de forma indireta e com recursos as fontes bibliográficas, tendo em consideração os quatro *pools* (reservatórios) de carbono: biomassa acima do solo, biomassa abaixo do solo, biomassa na matéria

orgânica morta e solo e também se levará em conta as condições de uso e ocupação de solo de cada província.

Conforme mencionado acima a estimação do carbono sequestrado para todo o país será feita com o recurso do módulo *Carbon Storage and Sequestration* do *software InVEST*.

Depois de corrido o modelo obtém-se um raster que mostra a quantidade de carbono armazenado em toneladas (Mg). O valor agregado a cada província foi obtido usando uma operação SIG (estatísticas zonais) disponível no *software* ArcGIS. Usando os dados obtidos, fez-se o cálculo da variação do carbono sequestrado em percentagem, usando a fórmula (1): quantidade de carbono armazenado no período t_{x+n} , subtraindo a quantidade de carbono no período t_x dividido pelo período t_x , multiplicado por 100.

$$\text{Índice de Variação} = [(t_{x+n} - t_x) / t_x] * 100 \quad (1)$$

O índice de variação de carbono numa dada localidade e em determinado período de tempo, no caso, num ano também pode ser estimado aplicando a metodologia de ganhos e perdas, baseado na diferença entre os ganhos e as perdas. Porém para Ravindranath e Ostwald (2008), o método ganho e perdas é mais difícil de estimar, daí ter-se usado a fórmula 1 para calcular a variação entre 2005 e 2009.

c) Mapeamento das Províncias

Para efetuar o mapeamento e quantificar os serviços de ecossistemas por províncias utilizou-se o modelo *Carbon Storage and Sequestration InVEST* acoplado a ferramenta *InVEST* e como variável principal o mapa *GlobCover-2005* e *2009*, gerados em formato matricial (raster) e a tabela de classes LULC (Woomer et al., 2004; Gowgoski e Sonwa 2011; Adu-Bredu et al., 2011; Asa et al., 2010), tabela 1.

Descrição LULC	Biomassa acima do solo	Biomassa abaixo do solo	Carbono na matéria orgânica
	MG ha ⁻¹		
Terras de cultivo pós-inundação ou irrigadas (ou aquáticas)	7.4	43.2	9.0
Terras de cultivo (seco)	9.3	19.9	11.2
Vegetação (Pasto/arbustos/ floresta) (20-50%)	116.6	24.8	11.2
Mosaico de Vegetação (Pasto/Matas/Floresta) (50-70%) / Lavras (20-50%)	61.3	17.0	17.1
Florestas de folha larga ou semi-decídua (>5m)	181.6	36.3	12.3
Floresta decídua fechada (>40%) (>5m)	227.0	45.4	15.4
Floresta decídua aberta (15-40%)	147.6	29.5	10.0
Floresta sempre verdes (>5m)	204.1	45.4	15.4
Floresta sempre verde ou decíduas (>5m)	132.6	29.5	10.0
Floresta mista (>5m)	158.9	31.8	10.8
Floresta (50-70%) ou Pasto (20-50%)	88.7	1.8	25.4
Padraria (50-70%) / Floresta ou arbustos (20-50%)	82.0	1.3	19.0
Arvoredo sempre verde ou decíduos	3.0	0.8	16.3
Vegetação herbácea (padraria, savanas ou líquenes/musgos)	5.8	1.8	25.4
Vegetação escassa (<15%)	4.7	0.2	11.7
Florestas frondosas regularmente inundadas	136.2	27.2	13.7
Florestas folhosas ou arbustos permanentemente inundados	115.8	22.8	25.4
Vegetação lenhosa em solo regularmente inundado			
Água salobre ou salina	5.8	0.2	11.6
Área urbanas (>50%)	3.0	0.6	13.5
Área sem cobertura	2.3	0.5	21.7
Corpos de água	0.0	0.0	0.0

Tabela 1 - Modelo de entrada para o carbono orgânico no solo, biomassa acima e abaixo do solo do tipo LULC (Woomer et al., 2004; Gowgowski e Sonwa 2011; Adu-Bredu et al., 2011; Asa et al., 2010)

Os dados encontrados na tabela 1 deve corresponder ao código existente no raster de uso da terra, no campo “*value*” e o índice de densidade relativa de carbono deve corresponder:

- Biomassa acima do solo em Mg/Ha (c_above)
- Biomassa abaixo do solo em Mg/Ha (c_below)
- Biomassa na matéria orgânica em Mg/Ha (c_dead)

Para além dos dados obrigatórios já mencionados acima, o modelo admite a possibilidades de se introduzir outros dados (opcionais):

- Mapa de uso e cobertura com dados futuros. Tem que ser obrigatoriamente um raster com código “*lucode*” para cada *pixel* e com indicação do ano correspondente (cenário futuro).
- Dados económicos:
 - Valor de cada tonelada de carbono sequestrado (“*price of carbon per metric ton*”). Para estimar o valor do carbono sequestrado, pode-se usar

estimativas do valor com base nos custos dos danos associados a libertação de carbono na atmosfera (custo social do carbono).

- ii. Taxa de variação anual do preço do carbono (“*annual rate of change in the price of carbon (%)*”). Esta taxa ajusta-se ao valor de carbono sequestrado.

3. Resultados

Nesta secção apresentam-se os principais resultados da abordagem implementada. Os primeiros resultados foram a obtenção dos mapas de solo, a partir do *GlobCover* 2005 e 2009. Os dados associados a estes mapas permitiram criar o banco de dados dos solos, para a região de estudo e que denominamos neste estudo como *GlobCover* Angola 2005 e 2009. Após obtenção destes mapas de solos em ambiente SIG, e corrido o modelo *Carbon Storage and Sequestration* da ferramenta *InVEST*, criou-se então os mapas com a quantificação do carbono armazenado. Os produtos cartográficos (mapas) são apresentados ao longo do texto na forma de figuras que integram o presente relatório.

O Modelo agrega a quantidade biofísica de carbono armazenado nos compartimentos (*pool*), de acordo com as classes encontrada na tabela LULC, (Tabela 1). Os resultados produzidos são arquivos em formato raster e que corresponde ao mapa com valores do carbono armazenado (por *pixel*). Todos os resultados são lançados na pasta de saída (*output*) e dentre eles estão arquivos com extensão **html** (passíveis de serem abertos em qualquer navegador web), arquivos de texto (com extensão **.txt**) e arquivos em formato tif (**Tot_C_cur_2005.tif** e **Tot_C_cur_2009.tif**). Estes raster mostram a quantidade de carbono armazenado (Mg) em cada *pixel* e corresponde a soma de todos os reservatórios (*pool*) de carbono fornecida pela tabela biofísica (tabela 1). Produziu-se também um mapa de variação de carbono armazenado entre 2009 e 2005. A variação do carbono sequestrado em percentagem foi estimada usando a fórmula (1), indicada acima.

3.1. Variação do armazenamento do carbono por provinciais entre 2005 e 2009

O primeiro passo foi analisar a informação cartográfica da área de estudo dos anos 2005 e 2009, para perceber quais as classes do solo presentes em ambos os mapas. O objetivo é identificar as classes de solo em toda a região de estudo, conforme legendada na tabela LULC (Quadro 1). As classes observadas podem ser lidas nos mapas da figura 3, com auxílio do Quadro 1.

Valor	Descrição	Anos	
		2005	2009
14	Terra Cultivada	✓	✓
20	Terras de cultivo (seco)		✓
30	Vegetação (Pasto/arbustos/ floresta) (20-50%)	✓	✓
40	Mosaico de Vegetação (Pasto/Matas/Floresta) (50-70%) / Lavras (20-50%)	✓	✓
50	Florestas de folha larga ou semi-decídua (>5m)	✓	✓
60	Floresta decídua fechada (>40%) (>5m)	✓	✓
90	Floresta sempre verde ou decíduas (>5m)	✓	✓
100	Floresta mista (>5m)	✓	✓
110	Floresta (50-70%) ou Pasto (20-50%)	✓	✓
120	Padraria (50-70%)/ Floresta ou arbustos (20-50%)	✓	✓
130	Arvoredo sempre verde ou decíduos	✓	✓
140	Vegetação herbácea (padraria, savanas ou líquenes/musgos)	✓	✓
150	Vegetação escassa (<15%)	✓	✓
160	Florestas frondosas regularmente inundadas	✓	✓
170	Florestas folhosas ou arbustos permanentemente inundados	✓	✓
180	Vegetação lenhosa em solo regularmente inundado	✓	✓
190	Água salobre ou salina	✓	✓
200	Área urbanas (>50%)	✓	✓
210	Corpos d'água	✓	✓

Quadro 1 – Legenda das classes observadas em Angola

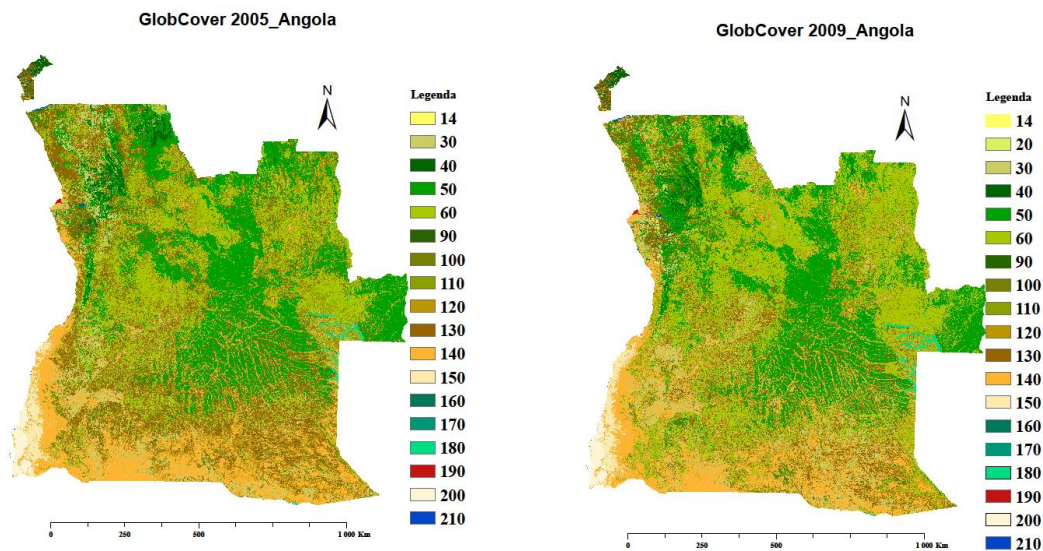


Figura 3 – GlobCover Angola 2005 e 2009

Com base na legenda da tabela LULC (Quadro 1), observa-se que no ano 2005 estão representadas dezoito (18) classes e em 2009 estão dezanove (19), ou seja, a classe vinte (20) que representa - Terras de cultivo (seco), surge apenas em 2009. O surgimento desta classe em 2009, pode ser entendido como a transição da classe terras de cultivo para a classes Mosaico de Vegetação (Pasto/Matas/Floresta).

Na tabela 2 temos representado as classes de solo observada nos dois anos. É notório o decréscimo da representação das classes 100, 110, 120 e 130 no ano 2009 (variação negativa) e as classes 30, 60 e 140 (variação positiva).

Classes	2005	% Em 2005	2009	% Em 2009	Variação
14	5544	0%	3609	0%	-35%
20	0	0%	13262	0%	0%
30	1054817	8%	1188441	9%	13%
40	196116	1%	187401	1%	-4%
50	3021374	22%	3014592	22%	0%
60	3162222	23%	4295405	32%	36%
90	15005	0%	14328	0%	-5%
100	335190	2%	815	0%	-100%
110	528456	4%	425334	3%	-20%
120	511751	4%	177144	1%	-65%
130	2791576	21%	2092285	16%	-25%
140	1514170	11%	1703783	13%	13%
150	141418	1%	156036	1%	10%
160	8430	0%	8428	0%	0%
170	78	0%	78	0%	0%
180	47356	0%	61705	0%	30%
190	3093	0%	2535	0%	-18%
200	107267	1%	100159	1%	-7%
210	13573	0%	12097	0%	-11%
Total	13457436	100%	13457437	100%	

Tabela 2 - Representação das classes de solo para os anos 2005 e 2009 e respetiva variação





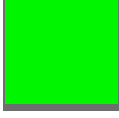
3.2 Mapeamento da distribuição do carbono em 2005 e 2009

Introduzida as variáveis exigidas e executado o modelo *Carbon Storage and Sequestration*, obteve-se mapas em tons de cinza, que contêm a informação do carbono armazenado. Para melhor análise reclassificou-se o raster obtido de forma a reatribuir uma faixa de valores, dando ao mapa obtido novos valores de saída, figuras 4 (distribuição nacional) e de 5 a 11 (distribuição a nível provincial), sendo que o último representa a variação de carbono entre 2005 e 2009. As classes correspondentes ao mapa de variação de carbono foram obtidas com recurso ao algoritmo *Natural breaks (jenks)*². O ArcMap possui vários métodos de classificação padrão. O método de intervalos naturais agrupa os valores semelhantes e maximiza as diferenças entre as

² ArcGIS Desktop Help

classes, isto é, forma internamente classes homogêneas e assegura a heterogeneidade entre essas.

A análise visual segue a leitura dos intervalos a que correspondem a distribuição da densidade de carbono. A reclassificação permitiu a indicação de 5 classes, com intervalos a variar de 0 – 2765, conforme descrito abaixo:

	- Vermelho: feições com pouca ou quase nenhuma contribuição para o armazenamento de carbono e correspondem zonas urbanas, solo sem cobertura vegetal e corpos de água (mar, rios, lagos, etc...)
	- Laranja: feições com alguma possibilidade de armazenar carbono, terras de cultivo - Secas
	- Amarela: feições de contribuição baixa e/ou mediana. Talvez correspondam a matas e/ou zonas agrícolas. Esta feição é detetada em quase todo o território.
	- Verde alface: feições cuja contribuição é considerável e corresponderão a zonas agrícolas bem irrigadas e/ou matas pouco “degradadas”.
	- Verde “forte”: feições com contribuição bastante alta e as que mais contribuem no armazenamento de carbono corresponderão a zonas como florestas, matas fechadas, etc.

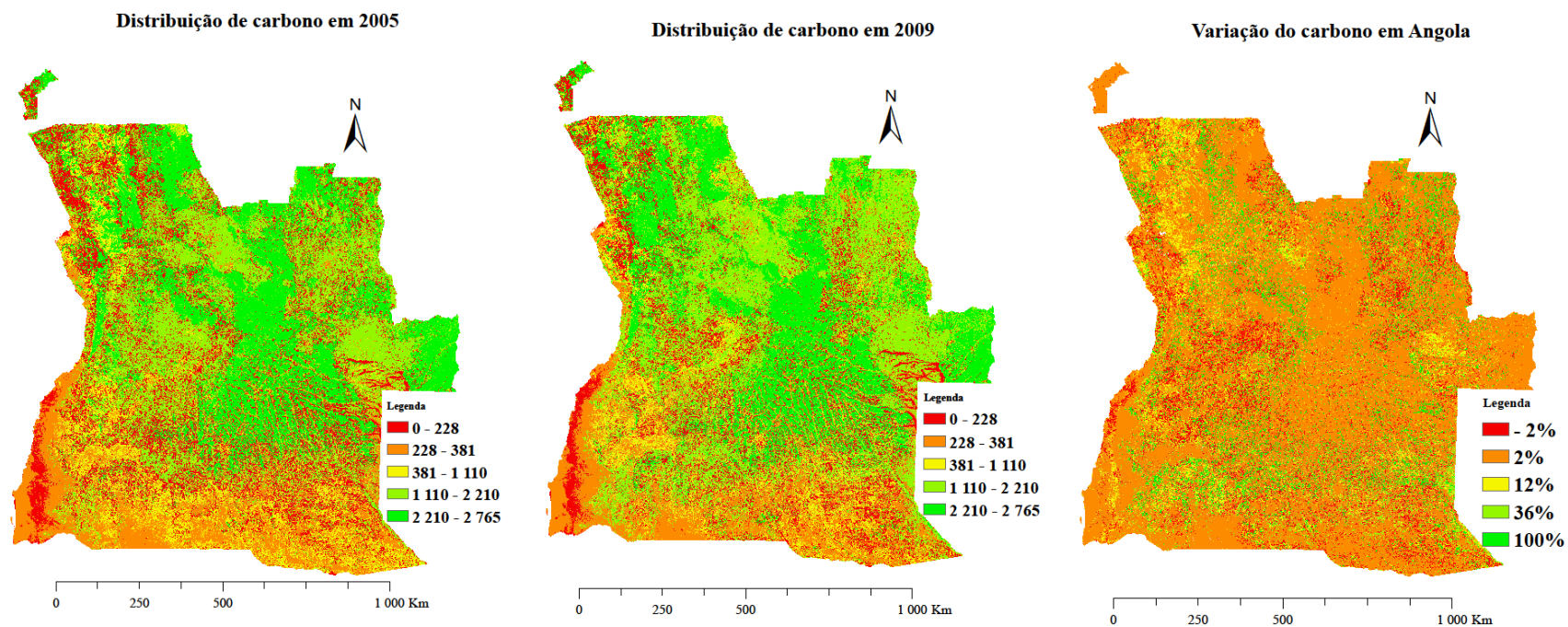


Figura 4 - Distribuição do carbono (Mg C h-1) em 2005, 2009 e respetiva variação (%)

3.2.1 Mapeamento por províncias

Nas figuras abaixo estão representadas a distribuição de carbono armazenado por províncias para os dois anos em estudo. Para entender como variou a cobertura da terra no período em estudo comparou-se os mapas de 2005 e 2009. O país foi dividido em 18 polígonos de tamanho variado, cada um com características heterogêneas de solo, vegetação e outros fatores. Cada *pixel* representa uma área de 300 por 300 metros.

Os resultados retratam de forma detalhada o que ocorreu em cada célula entre as duas datas. É possível visualizar alguns pontos onde provavelmente havia floresta, 2005, e passaram a ter agricultura ou pastagem, em 2009 e vice-versa. Ou onde houve desmatamento em 2005 e provavelmente repovoação vegetal em 2009, tendo um impacto positivo na quantificação do carbono armazenado.

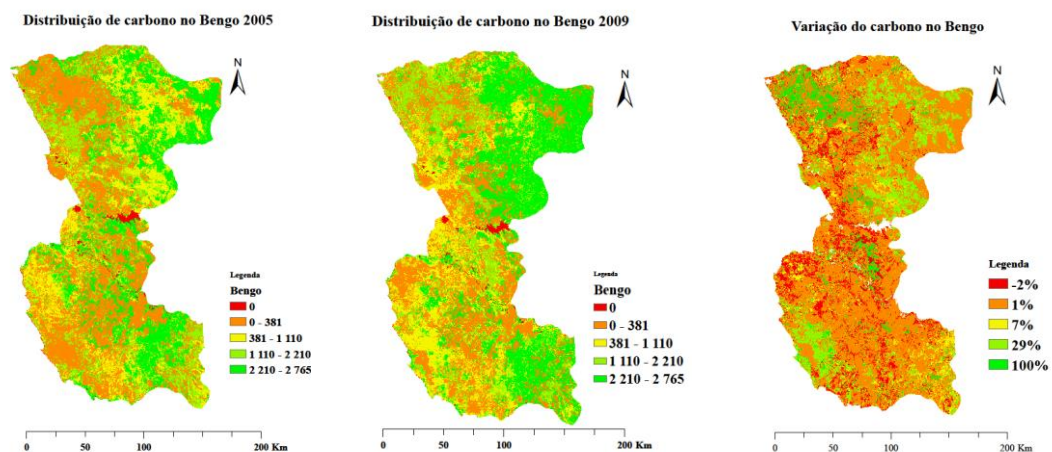


Figura 5 - Distribuição do carbono (Mg C h-1) em 2005, 2009 e respetiva variação (%) no Bêngo

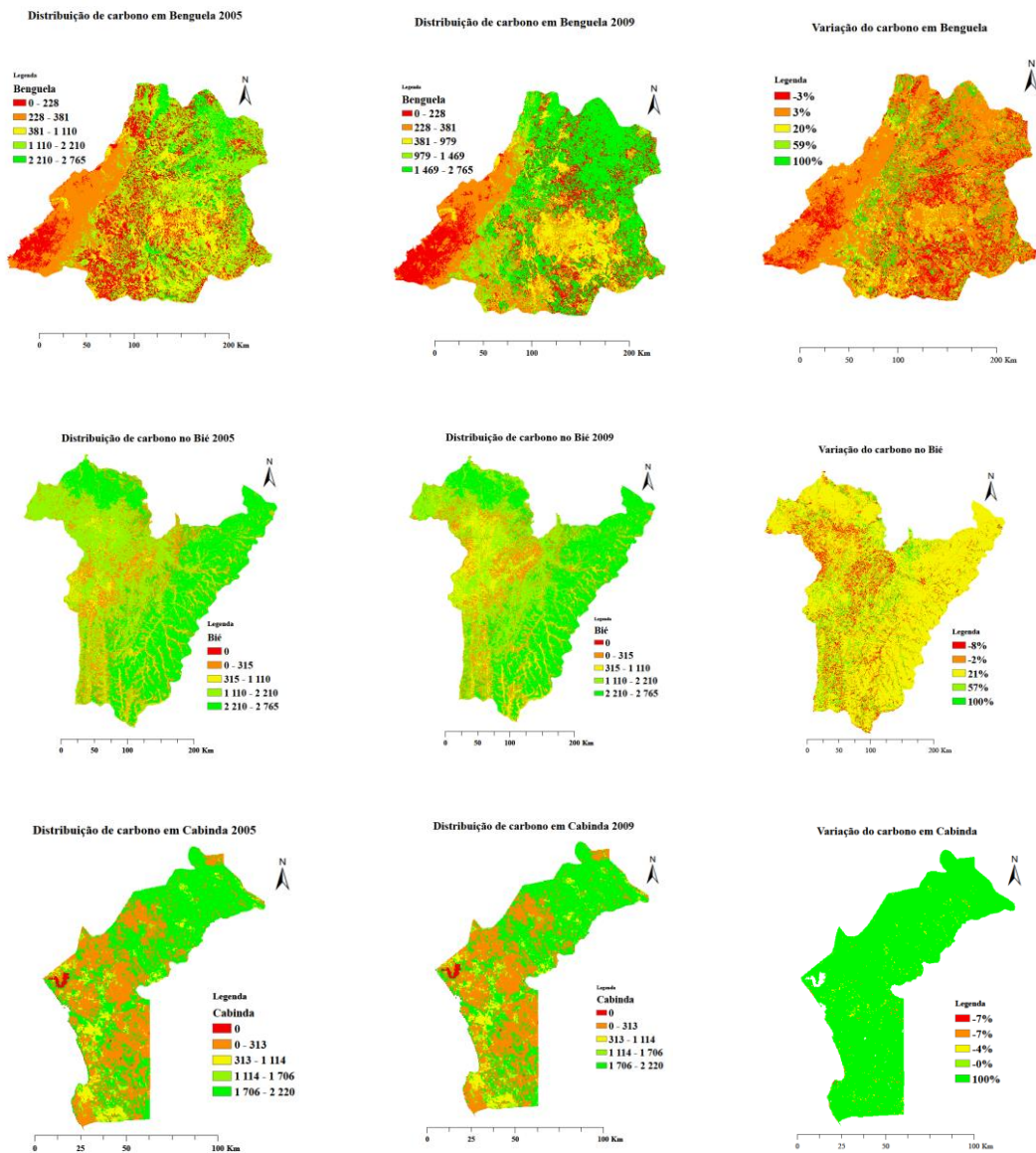
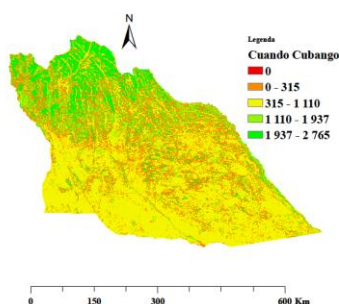
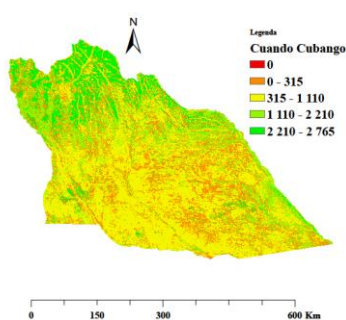


Figura 6 - Distribuição do carbono (Mg C h⁻¹) em 2005, 2009 e respetiva variação (%) em Benguela, Bié e Cabinda

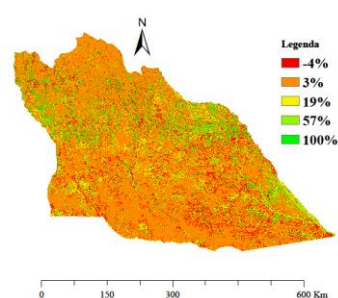
Distribuição de carbono no Cuando Cubango 2005



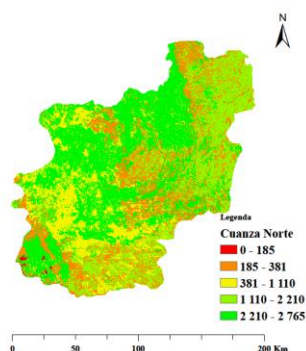
Distribuição de carbono no Cuando Cubango 2009



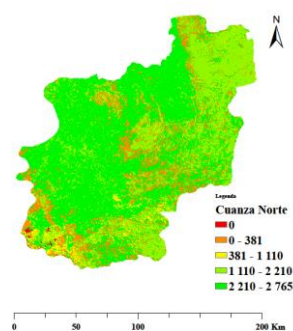
Variação do carbono no Cuando Cubango



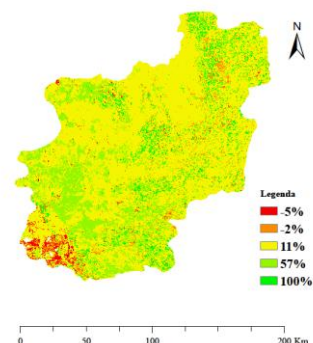
Distribuição de carbono no Cuanza Norte 2005



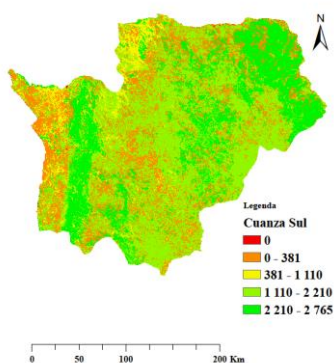
Distribuição de carbono no Cuanza Norte 2009



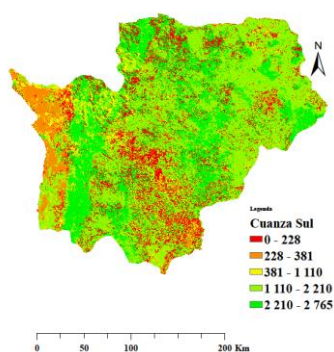
Variação do carbono no Cuanza Norte



Distribuição de carbono no Cuanza Sul 2005



Distribuição de carbono no Cuanza Sul 2009



Variação do carbono no Cuanza Sul

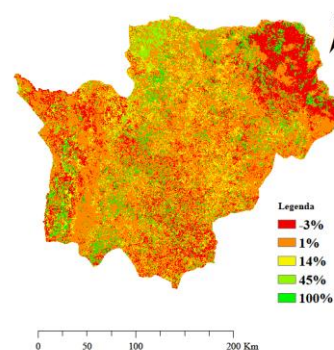


Figura 7 - Distribuição do carbono (Mg C h^{-1}) em 2005, 2009 e respetiva variação (%) no Cuando Cubango, Cuanza Norte e Cuanza Sul

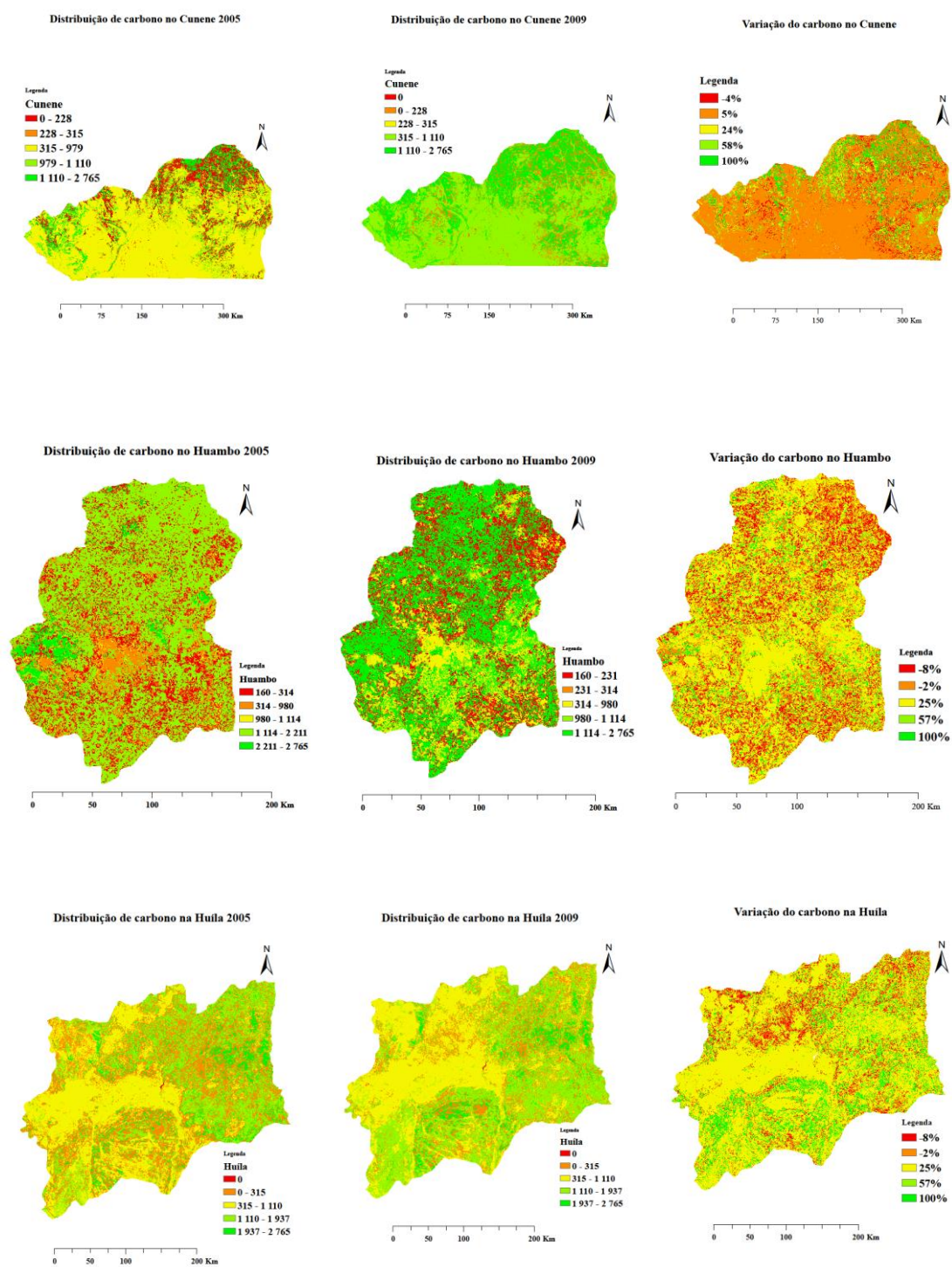


Figura 8 - Distribuição do carbono (Mg C h-1) em 2005, 2009 e respetiva variação (%) no Cunene, Huambo e Huíla

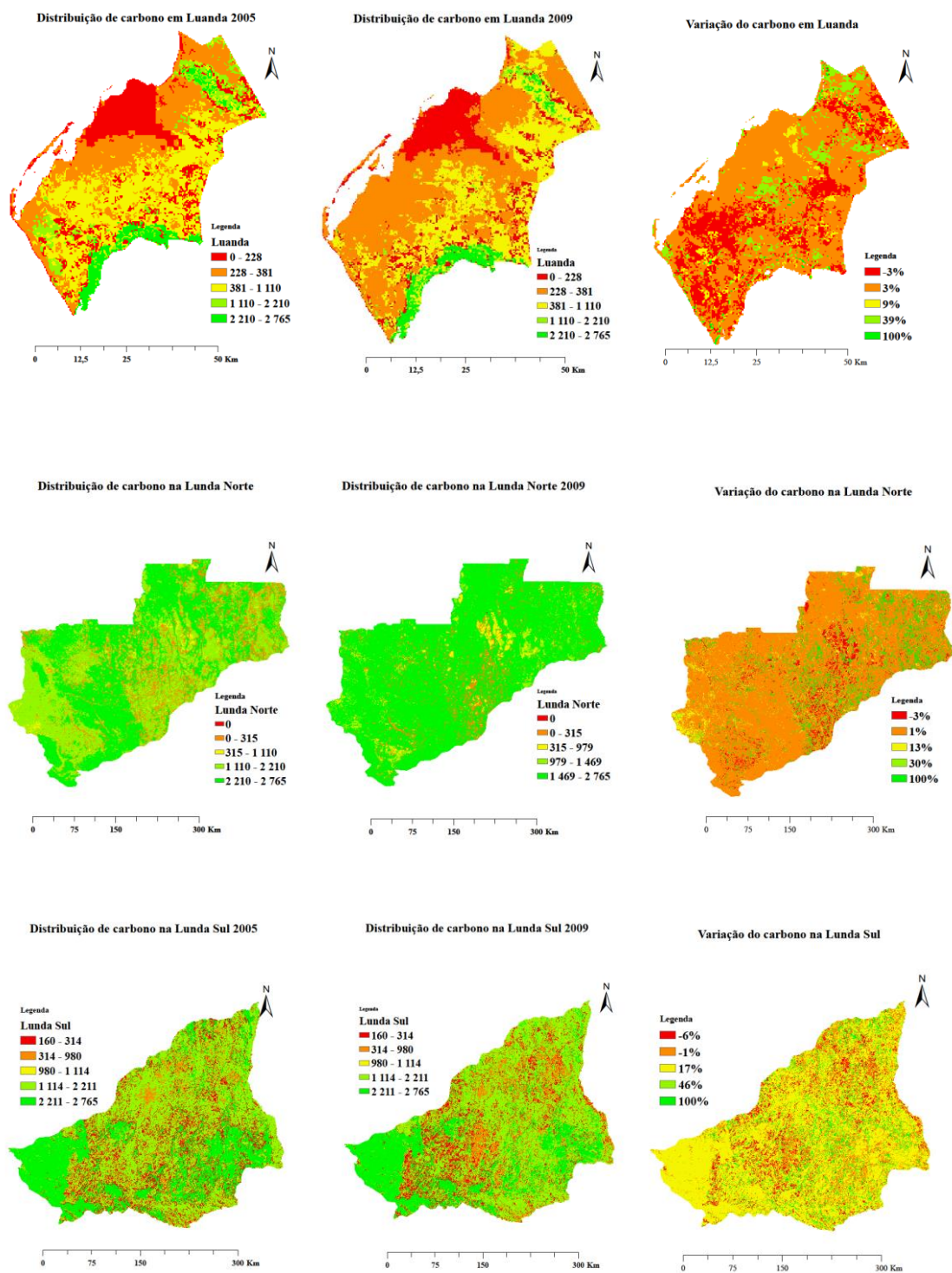


Figura 9 - Distribuição do carbono (Mg C h⁻¹) em 2005, 2009 e respetiva variação (%) em Luanda, Lunda Norte e Lunda Sul)

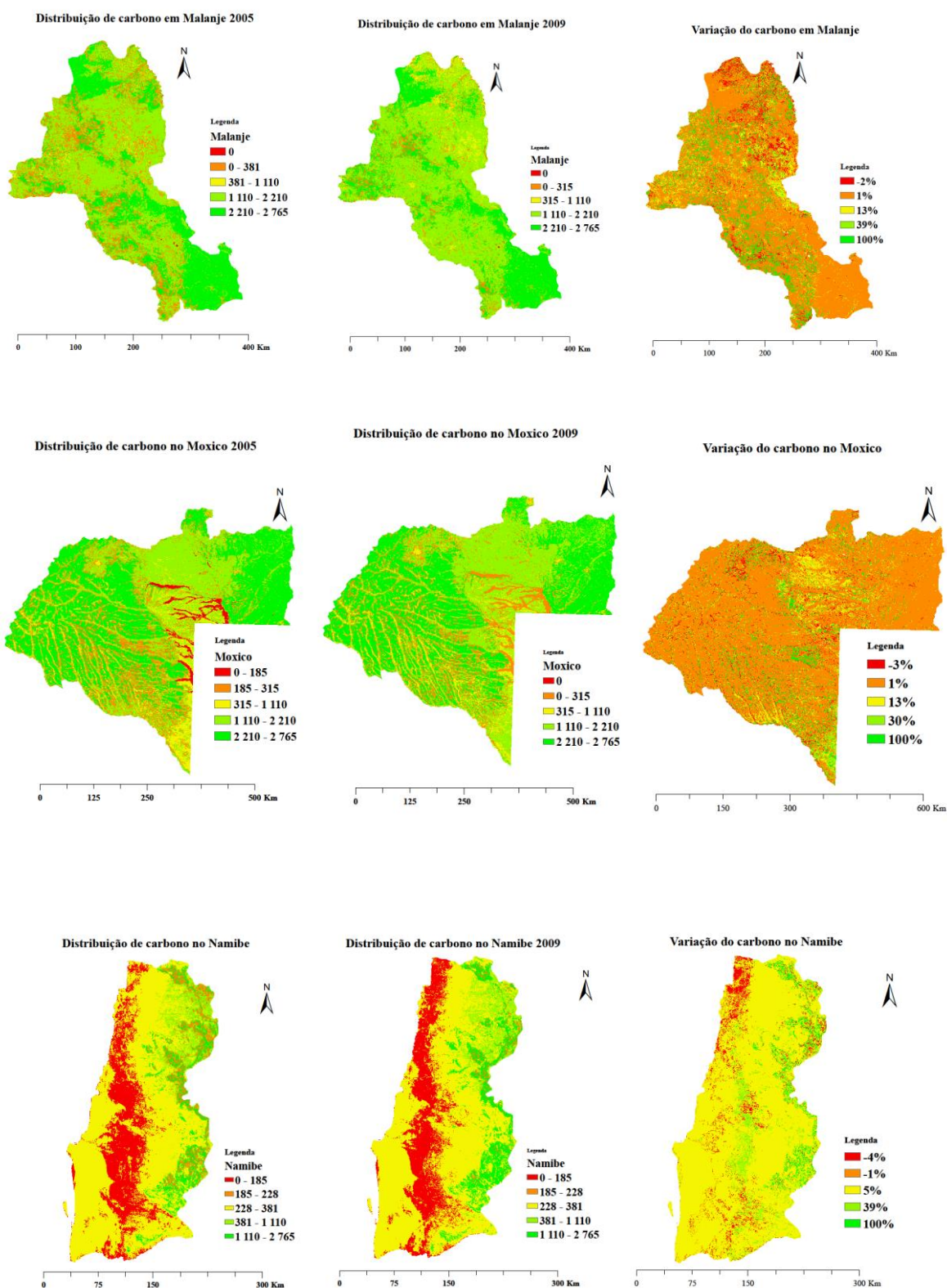


Figura 10 - Distribuição do carbono (Mg C h⁻¹) em 2005, 2009 e respetiva variação (%) em Malanje, Moxico e Namibe)

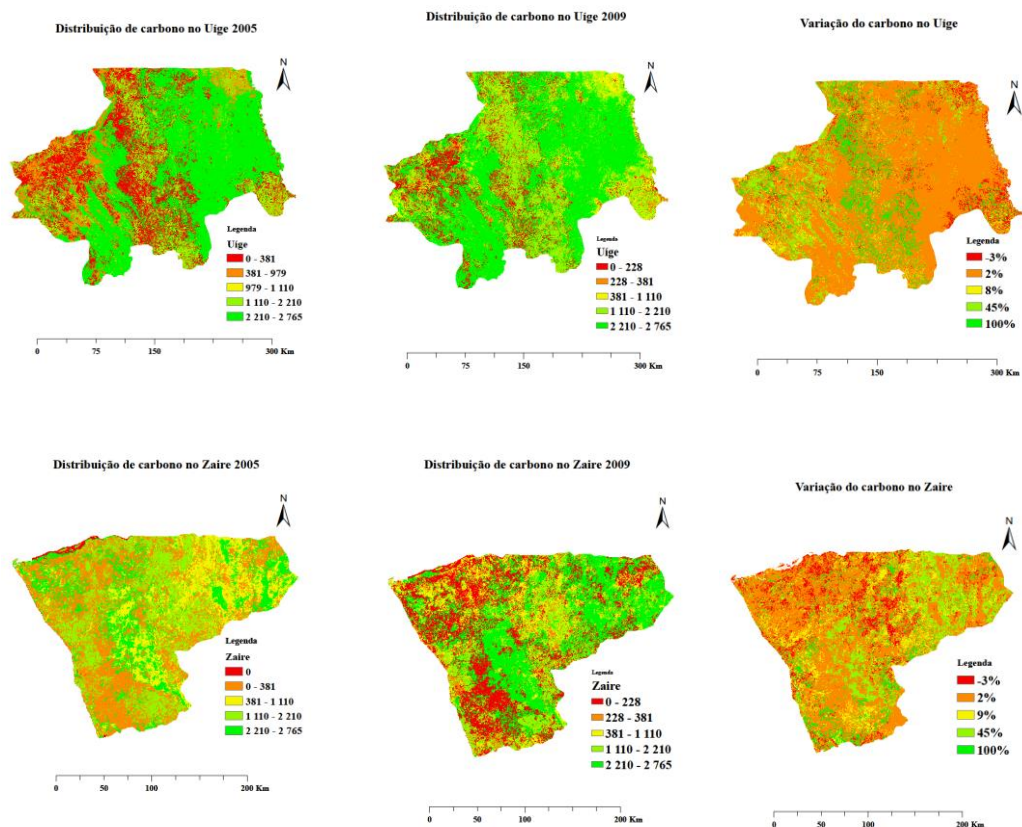


Figura 11- Distribuição do carbono (Mg C h-1) em 2005, 2009 e respetiva variação (%) no Uíge e Zaire)

Para quantificar o carbono armazenado em cada província recorreu-se a ferramenta *Zonal Statistics* do *software* ArcGIS. Esta ferramenta permitiu calcular a estatística para cada província e retorna o resultado em tabela e não um raster de saída. Assim, obteve-se a tabela 3.

Província	2005	%	Província	2009	%
Moxico	3678916686	21%	Moxico	3827827590	20%
Lunda Norte	2205038209	12%	Lunda Norte	2154109029	12%
Cuando Cubango	1811826627	10%	Cuando Cubango	1971564763	11%
Malanje	1487031891	8%	Malanje	1597861075	9%
Lunda Sul	1408391132	8%	Lunda Sul	1375298104	7%
Bié	1349213628	8%	Bié	1328307657	7%
Uíge	1130675126	6%	Uíge	1253981053	7%
Cuanza Sul	911829341,9	5%	Cuanza Sul	952394930,7	5%
Huíla	785879110,6	4%	Huíla	900245703	5%
Cunene	499994510,3	3%	Cunene	646445097,2	3%
Huambo	457245419,2	3%	Zaire	563131808,8	3%
Zaire	450615367,5	3%	Cuanza Norte	499315980,8	3%
Benguela	443004115,7	2%	Bengo	476588237	3%
Bengo	408769505,9	2%	Benguela	416761816	2%
Cuanza Norte	401518377,9	2%	Huambo	384301910,4	2%
Namibe	235881096	1%	Namibe	264103729,7	1%
Cabinda	89518100,42	1%	Cabinda	87479592,64	0%
Luanda	18297947,17	0%	Luanda	15655475,49	0%
Total	17773646192	100%	Total	18715373553	100%

Tabela 3 – Quantidade de carbono (Mg C h^{-1}) armazenado por província em %

Os resultados obtidos foram 17.773.646.192 bilhões de toneladas de carbono armazenado em 2005 e 18.715.373.553 bilhões de toneladas em 2009, com indicação de que houve um aumento de cerca de 941.727.360 milhões de toneladas de 2005 a 2009, ou seja, um aumento de 5% em todo território em 2009. Este aumento pode resultar da contribuição de classes como florestas, matos e áreas agrícolas. Há províncias que quase nada contribuíram no percentual do carbono armazenado em 2009, (tabela 3), dentre elas estão as províncias de: Cabinda (0%), Luanda (0%) e Namibe (1%). Teoricamente este resultado já era esperado, pois Namibe se enquadra na região desértica, Luanda é a capital e consequentemente a que mais sofre as pressões de degradação antrópica. Por ser também a província com maior número de habitantes, nela se verifica maior desmatamento e mais empobrecimento dos solos, como

resultado da procura de espaço para habitabilidade. Esta procura aumenta a área urbana que nada contribui para o armazenamento de carbono. Em Cabinda encontra-se uma das maiores florestas de Angola, Maiombe. Nela há grande biodiversidade, dentre elas, espécies vegetais valiosas e de grande interesse económico. Podemos associar esta redução, não só o tamanho da província, mais a forte procura por espécies de interesse económico, o que conduz ao desmatamento descontrolado, consequentemente menos carbono.

3.3. Cálculo da variação do carbono armazenado em percentagem

As classes de solo com suas características intrínsecas permitem explicar parte do processo de armazenamento de carbono. Neste trabalho verificou-se que de 2005 a 2009, houve um decréscimo de algumas classes do solo (Tabela 3), cerca de -1% (classes 110); -2% (classes: 100, 120) e -5% (classe 130); estes decréscimos afetaram de alguma forma a quantidade de carbono armazenado. A aplicação da fórmula 1, produziu os resultados espelhados no gráfico 1 (Índice de variação de carbono).

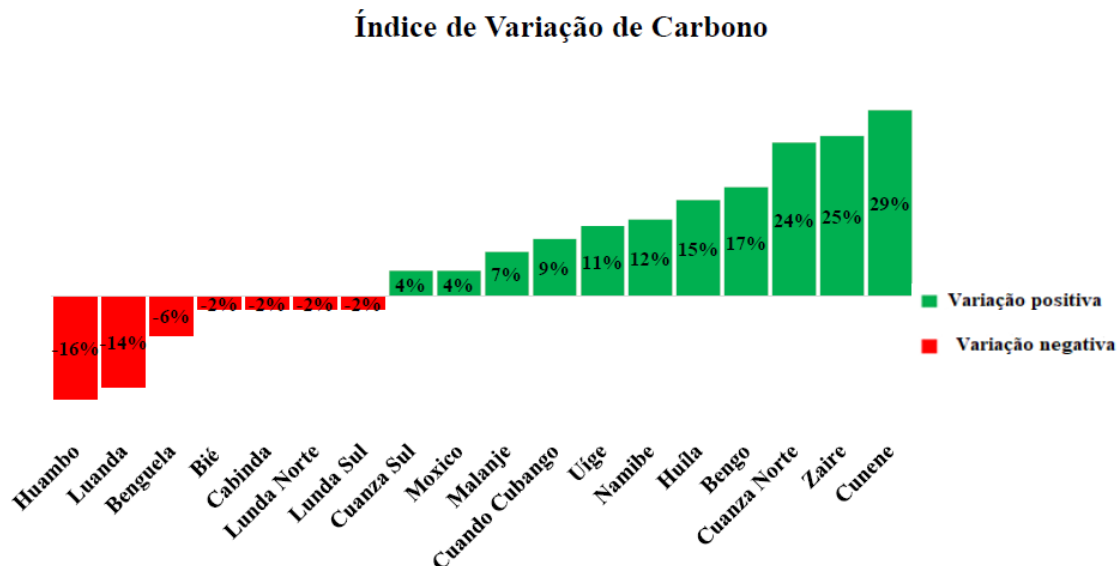


Gráfico 1 – Variação de carbono de 2005 a 2009 em percentagem

De acordo com os dados do INE, as províncias mais populosas são: Luanda, Huíla, Benguela, Huambo, Cuanza Sul, Uíge, Bié; províncias com população intermédia: Cunene, Malanje, Lunda Norte, Moxico e Cabinda; províncias menos populosas: Zaire, Lunda Sul, Cuando Cubango, Namibe, Cuanza Norte e Bengo.

Feita análise, e comparando a quantidade de carbono armazenado por cada província nos dois anos de estudo, observou-se que de forma geral, houve uma variação muito baixa em todas as províncias, mesmo naquelas em que houve maior armazenamento. Como é o caso de Moxico (21% em 2005 e 20% em 2009).

A tabela 5 dá-nos a informação de que houve variação negativa para as províncias de: Benguela (-6%), Bié (-2%), Cabinda (-2%), Huambo (-16%), Luanda (-14%), Lunda Norte (-2%) e Lunda Sul (-2%).

Das províncias mais populosas, apenas Huíla e Uíge, não tiveram uma variação negativa, porém a variação também não foi positiva (os valores mantiveram-se); isto talvez se deva o facto da Huíla, apresentar uma vegetação correspondente a floresta aberta, pois seu clima é tropical de alternância com estação chuvosa e seca, mais com elevados índices de humidade do ar, o que leva a surgimento de espécies cuja folhagem é caduca. Portanto, de modo geral, as províncias mais habitadas apresentaram variações negativa, com exceção das províncias da Huila 15% e Uíge 11%. Para além do número de habitantes, fatores como propriedades do solo, clima, relevo, e outras variáveis influenciam a variação do carbono armazenado no solo. As classes de solo e suas características intrínsecas também explicam os processos de controlo de estoque de carbono no solo. Assim, alteração na cobertura do solo pode acarretar tanto acréscimos como decréscimos na quantidade de carbono armazenado Rosset et al. (2014). Usando os mapas de solo verificou-se que houve um acréscimo de 941.727.360 milhão de tonelada de carbono armazenado em 2009, comparado com 2005 e que existe uma correlação deste valor e as classes de solo observadas na figura 3.

3.4. Valorização económica do carbono

Depois de quantificar o carbono armazenado, fez-se a valorização económica. Para tal os idealizadores do modelo sugerem que os cálculos devem ser aplicados ao preço por toneladas métricas de carbono equivalente. Assim, assumiu-se o valor de US \$ 43 (padrão encontrado na interface da ferramenta) e uma taxa de desconto de 10% ao ano

e uma taxa de variação anual de 10% e obteve-se os valores encontrados na tabela 4. A taxa de desconto é aplicada apenas ao carbono sequestrado e não ao carbono armazenado. O valor padrão da taxa de variação anual é de 0%, porém optou-se por 10%, para garantir que o valor de carbono sequestrado em 2009 seja menor que o sequestrado em 2005. Desta forma assegura-se a redução dos gases com efeitos de estufa. Os valores positivos são os benefícios sociais adquiridos com o sequestro de carbono. Valores negativos indicam o custo das emissões de carbono a partir das mudanças que se verificaram na cobertura do solo.

Províncias	Carbono Sequestrado	Valor em milhões US \$
Bengo	$6,84.10^7$	$2,26.10^9$
Benguela	$-2,62.10^7$	$-8,65.10^8$
Bié	$-2,04.10^7$	$-6,73.10^8$
Cabinda	$-2,05.10^6$	$-6,78.10^7$
Cuando Cubango	$1,60.10^8$	$5,28.10^9$
Cuanza Norte	$9,79.10^7$	$3,23.10^9$
Cuanza Sul	$4,06.10^7$	$1,34.10^9$
Cunene	$1,47.10^8$	$4,84.10^9$
Huambo	$-7,3.10^7$	$-2,42.10^9$
Huíla	$1,14.10^8$	$3,77.10^9$
Luanda	$-2,63.10^6$	$-8,71.10^7$
Lunda Norte	$-5,12.10^7$	$-1,69.10^9$
Lunda Sul	$-3,33.10^7$	$-1,10.10^9$
Malanje	$1,10.10^8$	$3,64.10^9$
Moxico	$1,49.10^8$	$4,92.10^9$
Namibe	$2,83.10^7$	$9,36.10^8$
Uíge	$1,23.10^8$	$4,06.10^9$
Zaire	$1,13.10^8$	$3,72.10^9$
	$9,4.10^8$	$31,1.10^9$

Tabela 4 – Carbono sequestrado e respetivo valor económico (milhões US \$)

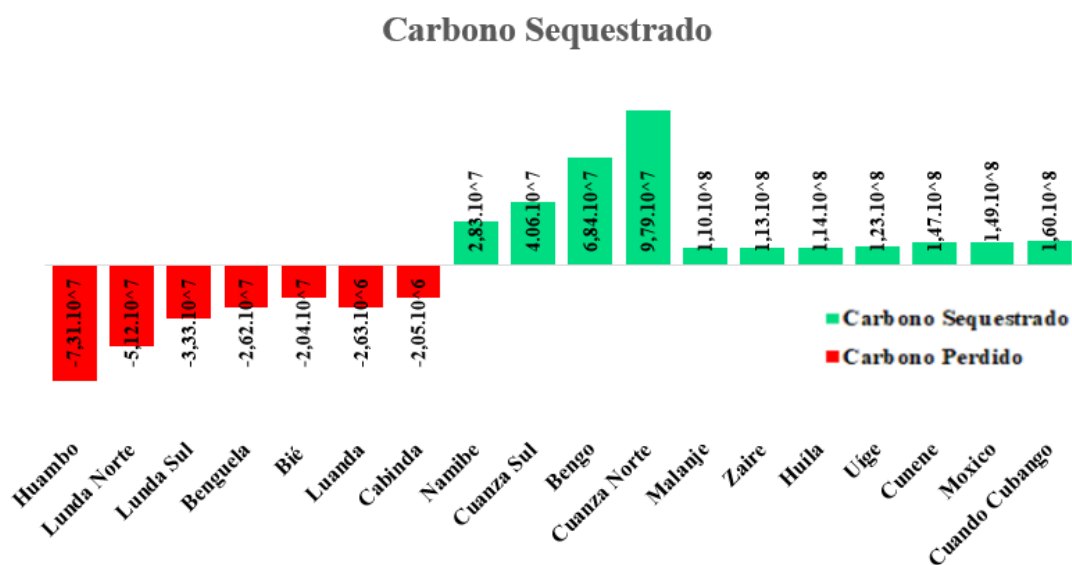


Gráfico 2 - Quantidade do carbono sequestrado

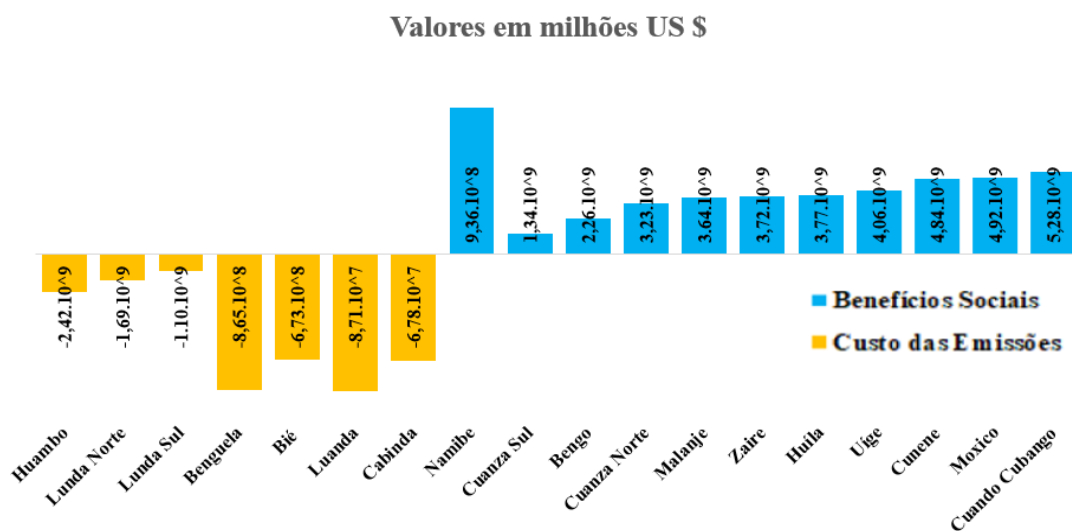


Gráfico 3 - Valor económico do carbono armazenado

No modelo o valor de uso da terra representa as transações monetárias. Para obter o valor por hectare, os dados foram divididos pela quantidade física da terra. Como as classes de solo não são utilizadas para produção econômica, foi necessário inferir um valor económico para essas classes. O modelo permite gerar valor a nível nacional e provincial. Os resultados assinalam que a captura de carbono alcançou os 31.111.427.694 dólares para o ano de 2005. Angola, não faz parte do grupo de países

que aplica políticas climáticas, isto significa que as tarifas compensatórias de carbono impostas pelos países desenvolvidos possuem pouco impacto, porém a aplicação deste modelo (parâmetros endógenos ao modelo), ilustram o tipo de exercício que o governo angolano pode usar como ferramenta de negociação em suas estratégias de financiamento de reduções de gases com efeito de estufa.

4. Conclusão

A metodologia utilizada no estudo envolveu dois passos: o primeiro dedicado ao mapeamento da cobertura do solo e o segundo, envolveu a quantificação, mapeamento e valorização do armazenamento e sequestro do carbono. Dos resultados obtidos no primeiro passo, observa-se que existe uma boa distinção das classes de cobertura do solo e foi deste conjunto de amostras que dependem os resultados obtidos pelo Modelo *Carbon Storage and Sequestration*.

Nos vários estudos publicados notou-se que não existe consenso no que concerne a compreensão e mensuração dos processos que controlam o carbono armazenado no solo, daí existir uma grande procura por estudos sobre estoque de carbono no solo (ECS) e também por modelos que permitam aferir qual ou quais fatores melhor descrevam este fenómeno. São também escassos os conhecimentos sobre a variabilidade espaço/temporal do ECS e os poucos trabalhos que existem são pontuais, restringindo-se a dados locais. Há carência de dados sobre ECS relacionados com classes de solo, propriedades do solo (por exemplo, textura), relevo, cobertura vegetal e uso da terra. A FOA já publicou o primeiro mapa global de carbono orgânico do solo (GSOC), porém não foi possível comparar os resultados, por não estar clara a metodologia utilizada e nem as variáveis tidas em conta. Finalizando, concluiu-se que existem programas que incentivam o pagamento por serviços de ecossistemas e estes podem ser de âmbito local, nacional e internacional, por exemplo, o Projeto Capital (“*Natural Capital Project*”). Os resultados de valorização económica permite concluir que o país pode optar por políticas que vise em menor custos de mitigação o que se traduzirá em maiores cortes de emissões. As perdas económicas representarão custos associados à transição para a economia de baixo carbono.

4.1. Limitações no trabalho e do modelo

Impossibilidade de fazer um estudo comparativo, por falta de trabalhos anteriores o que impossibilitou a validação do modelo. Por outro lado, a falta de atualizações regulares e recentes dos mapas globais, dificulta a análise dos resultados.

Nenhum modelo é perfeito, assim o modelo apresenta as seguintes limitações ou desvantagens:

- Simplificar o ciclo de carbono, implicando o seu funcionamento com pouca informação.
- As estimativas do modelo baseiam-se em estimativas para cada classe da tabela LULC apesar de se verificar muitas vezes diferenças entre os tipos LULC ou dentro do mesmo tipo LULC.
- O modelo não inclui as condições biofísicas dos ecossistemas (taxa fotossintética) de alguns organismos e nem a presença de organismos ativos no solo e estes são importantes indicadores para armazenamento de carbono.

4.2. Desenvolvimentos futuros

4.2.1. *Land Cover* África

Solos geridos de forma sustentável tornam-se melhores aliados para preservar a biodiversidade, lutar contra as alterações climáticas, minimizar a poluição, etc.

Em Setembro de 2017, a equipe de cobertura da terra da ESA CCI divulgou um mapa de cobertura da terra (*Land Cover*), sobre África, com uma resolução de 20m. Trata-se do primeiro mapa africano de alta resolução que cobre todo o continente para o ano de 2016. É possível fazer o *download* este produto em <https://www.esa-landcover-cci.org/>.

Pretendia-se nesta tese explorar a viabilidade da utilização dos mapas *GloCover* (2005 e 2009) e o *Land Cover* África (2016) tanto em termos da distribuição temporal e espacial, bem como a distribuição das diferentes classes de cobertura do solo e fazer a simulação da previsão para 2030 em todo o território. Seria necessário projetar o uso do solo e as mudanças no uso do solo, porém por limitações de dados e a grande disparidade nas legendas, funcionou como uma limitação para conclusão desta

pretensão. Para que isto fosse possível, era preciso: analisar as áreas de florestas convertidas em outros usos de terra (pasto, agricultura, zona habitacional, etc., situação que contribuiria para emissões de carbono); exigia simular o uso futuro do solo e as mudanças nesse uso; projetar o futuro; Isto envolveria combinação de outras ferramentas (IDRISI por exemplo) e dados secundários.

Visto que o principal objetivo da divulgação do protótipo *Land Cover* África foi coletar o feedback dos usuários para melhorar o produto (www.esa-landcover-cci.org), alguns estudos têm sido realizados. Técnicos do Instituto Internacional de Análise de Sistemas Aplicados (IIASA), Lesiv et al. (2017), fizeram uma avaliação, comparando o *Land Cover* 2016, com dois outros produtos *Copernicus Global Land Services* (CGLS), (<http://land.copernicus.eu/global/products/lc>), verificaram haver uma precisão de aproximadamente 65%. (<http://pure.iiasa.ac.at/14979/>).

Tanto o *Land Cover* 2016 como o GSOC foram produzidos com a participação de vários países, logo e tal como consta no objetivo geral deste trabalho, pretende-se com este trabalho incentivar o executivo e/ou decisores em Angola, a criarem um sistema nacional de informação sobre a terra, onde constarão mecanismos para avaliar e validar os dados *Land Cover* 2016, a nível nacional e provincial; monitorar os níveis de carbono no solo e avaliar os impactos nestes sistemas.

Referências Bibliográficas

ALFARO, Marta; BARDGETt, R. et al. (2015) *Status of the World 's Soil Resources*. Disponível em: www.fao.org/publications.

BAI, Y., FENG, M., JIANG, H., WANG, J., ZHU, Y. e LIU, Y. (2014) *Assessing Consistency of Five Global Land Cover Data Sets in China*, pp. 8739–8759. doi: 10.3390/rs6098739.

BRAAT, L. C. e DE GROOt, R. (2012) *The ecosystem services agenda:bridging the worlds of natural science and economics, conservation and development, and public and private policy, Ecosystem Services*, 1, pp. 4–15. doi: 10.1016/j.ecoser.2012.07.011.

COSTANZA, R., SUTTON, P. C. e ANDERSON, S. (2014) *Changes in the global value of ecosystem services*, (May 2016). doi: 10.1016/j.gloenvcha.2014.04.002.

DIVA-GIS (sem data). Disponível em: <http://www.diva-gis.org/gdata> (Acedido: 6 de Abril de 2017).

ESA Data User Element (sem data). Disponível em: http://due.esrin.esa.int/page_globcover.php (Acedido: 6 de Abril de 2017).

FORTE, D. M. C. R. da C. (2014) *Identificação dos serviços dos ecossistemas e quantificação do armazenamento e sequestro do carbono na Arrábida utilizando SIG*. Disponível em: <https://run.unl.pt/handle/10362/13204> (Acedido: 6 de Abril de 2017).

GADM (sem data) *Global Administrative Areas*. Disponível em: <http://www.gadm.org/country> (Acedido: 6 de Abril de 2017).

HIPÓLITO, J. at al. (2017) *Uso do programa InVEST para a avaliação e valoração de serviços ecossistêmicos em áreas protegidas pela vale*. Instituto Tecnológico Vale. doi: 10.29223/PROD.TEC.ITV.DS.2017.7.Hip.

LEH, M. D. K., MATLOCK, M. D., CUMMINGS, E. C. e NALLEY, L. L. (2013) *Quantifying and mapping multiple ecosystem services change in West Africa, Agriculture, Ecosystems and Environment*. Elsevier B.V., 165, pp. 6–18. doi: 10.1016/j.agee.2012.12.001.

LESIV, M. e FRITZ, S. (2017) *Evaluation of ESA CCI prototype land cover map at 20m* Lesiv , M ., Fritz , S ., McCallum , I ., Tsendbazar , N ., Approved by : Michael Obersteiner , Program Director Ecosystems, (November). doi: 10.13140/RG.2.2.23774.54086.

LI, W., MACBEAN, N., CIAIS, P., DEFOURNY, P., LAMARCHE, C., BONTEMPS, S., HOUGHTON, R. A. e PENG, S. (2018) *Gross and net land cover changes in the main plant functional types derived from the annual ESA CCI land cover maps (1992 – 2015)*, pp. 219–234.

MACHADO, P. (2005) *Carbono do solo e a Mitigação da Mudança Climática Global*, Quim. Nova, 28(2), pp. 329–334.

NIQUISSE, S., CABRAL, P., RODRIGUES, Â. e AUGUSTO, G. (2017) *Ecosystem services and biodiversity trends in Mozambique as a consequence of land cover change*, *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services and Management*. Taylor & Francis, 13(1), pp. 297–311. doi: 10.1080/21513732.2017.1349836.

OLIVEIRA, E. S. (2015) *Estoque de Carbono do Solo Segundo os componentes da paisagem*. Cadernos de ciência & Tecnologia, Brasília, v.32, n1/2.

PAULETE, M. e MARTINS, P. (2015) *Estimativa do potencial sequestro de carbono em áreas de preservação permanente de cursos d' água e topos de morros mediante reflorestamento com espécies nativas no município de São Luiz do Paraitinga*, *sid.inpe.br/mtc* m21b/2015/07.20.21.31-TDI. Disponível em: <http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3JSQ4PS>.

PEREIRA, Â. F. D. R. e SIL, C. (2014) *Alterações da paisagem e serviços de ecossistema : Quantificação e valoração do sequestro de carbono na bacia superior do Rio Sabor*, Instituto Politécnico de Bragança, p. 26.

SILVA, H. F., RIBEIRO, S. C. e BOTELHO, S. A. (2013), *Estimativa do estoque de carbono por métodos indiretos em área de restauração florestal em Minas Gerais*, *Scientia Forestalis*, pp. 943–953.

SOUZA, M. C. O. e CORAZZA, R. I. (2017), *Do Protocolo Kyoto ao Acordo de*

Paris: uma análise das mudanças no regime climático global a partir do estudo da evolução de perfis de emissões de gases de efeito estufa, *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, 42, pp. 52–80. doi: 10.5380/dma.v42i0.51298.

C&SIG





UNIGIS PT

